

10501269



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 41 23 716 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**B 23 K 26/14**

⑳ Aktenzeichen: P 41 23 716.1  
㉑ Anmeldetag: 17. 7. 91  
㉒ Offenlegungstag: 21. 1. 93

**DE 41 23 716 A 1**

⑦① Anmelder:  
Thyssen Stahl AG, 4100 Duisburg, DE

⑦④ Vertreter:  
Cohausz, W., Dipl.-Ing.; Knauf, R., Dipl.-Ing.;  
Cohausz, H., Dipl.-Ing.; Werner, D., Dipl.-Ing.  
Dr.-Ing., Pat.-Anwälte, 4000 Düsseldorf

⑦② Erfinder:  
Preißig, Kai-Uwe, Dipl.-Ing., 4600 Dortmund, DE;  
Petric, Dirk, Dipl.-Phys., Kerkrade, NL; Beyer,  
Eckhard, Dr.-Ing., 5100 Aachen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung zum Hochgeschwindigkeitsschneiden dünner Bleche mittels Laserstrahlung

⑤⑦ Vorrichtung zum Hochgeschwindigkeitsschneiden dünner Bleche mit Laserstrahlung, die mit einer Fokussieroptik im Bereich der Blechdicke fokussiert ist, mit einer Gasdüse für Schneidgas, das aus Schmelze aus der Schnittfuge austreibendem Inertgas und aus das Schneiden beeinflussendem Gas besteht.

Um eine Vorrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen so zu verbessern, daß mit erheblich größeren Schneidgeschwindigkeiten geschnitten werden kann, indem größere Laserleistungen und -Intensitäten verwendet werden, jedoch ohne daß unerwünschte Beeinträchtigungen der Schnittkanten in Kauf genommen werden müssen, wird diese so ausgebildet, daß das das Schneiden beeinflussende Gas Wasserstoff ist.

**DE 41 23 716 A 1**

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum Hochgeschwindigkeitsschneiden dünner Bleche mit Laserstrahlung, die mit einer Fokussieroptik im Bereich der Blechdicke fokussiert ist, mit einer Gasdüse für Schneidgas, das aus Schmelze aus der Schnittfuge austretendem Inertgas und aus das Schneiden beeinflussendem Gas besteht.

Bei konventionellem Laserstrahlschneiden werden beispielsweise ein 1,5 kW CO<sub>2</sub>-Laser und eine Standard-Fokussiereinrichtung verwendet, die zu Intensitäten des Fokussierbereichs von etwa 106 W/cm<sup>2</sup> führen. Bei diesem Schneiden findet an der Schnittfront des Metalls eine Fresnelabsorption statt, bei der Verdampfung von Werkstoffen vernachlässigt werden kann. Die physikalischen Vorgänge bei diesem herkömmlichen Schneiden sind erforscht und die dafür entwickelten Theorien wurden experimentell bestätigt.

Für das Laserschneiden metallischer Werkstücke, insbesondere für das Schneiden von rostfreiem Stahlblech mit einer Dicke von unter einem Millimeter ist es aus der DE 36 19 513 A1 bekannt, eine Vorrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen zu verwenden. Das schneidaktive Gas ist Sauerstoff. Dieser Sauerstoff hat einen Anteil von 30 bis 90 Vol.-% des Schneidgases. Er soll der chemischen exothermen Reaktion mit dem Stahl zur Erzeugung von zusätzlicher Wärmeenergie dienen, um so den Schneidprozeß zu beschleunigen. Außerdem soll der Sauerstoff zusammen mit dem Inertgas die im Schneidbereich entstehende Schmelze aus der Schnittfuge des Blechs austreiben. Es hat sich jedoch erwiesen, daß die Oxydationsprodukte nicht vollständig aus der Schnittfuge ausgetrieben werden können, sondern diese verunreinigen. Außerdem entsteht aufgrund der chemischen exothermen Reaktion eine vergleichsweise große Wärmeinflußzone seitlich des Schnittbereichs zurückzuführen, was zu einer Schädigung des Blechs führen kann, insbesondere wenn dieses mit einer Beschichtung versehen ist.

Es sind vielfältige Überlegungen und Experimente angestellt worden, um das Schneiden dünner Bleche mit noch größeren Geschwindigkeiten durchführen zu können. Beispielsweise ist es aus WO 88/01 553 bekannt, die Achse der Laserstrahlung, die von einer Düse zur Zuführung von Gas zur Schnittstelle umgeben ist, in Bezug auf die Achse des Druckzentrums der Gasdüse zu versetzen, und zwar hin zum ungeschnittenen Blech. Dem liegt die Vorstellung zugrunde, daß das Material erst geschmolzen werden muß und dann an einer nachfolgenden Stelle aus der Schnittfuge besser ausgetrieben werden kann. Die dadurch erzielbaren Vorteile sind jedoch nicht mehr gegeben, wenn dünne Bleche mit hohen Schneidgeschwindigkeiten geschnitten werden sollen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen so zu verbessern, daß mit erheblich größeren Schneidgeschwindigkeiten geschnitten werden kann, indem größere Laserleistungen und -Intensitäten verwendet werden, jedoch ohne daß unerwünschte Beeinträchtigungen der Schnittkanten in Kauf genommen werden müssen.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß das das Schneiden beeinflussende Gas Wasserstoff ist.

Für die Erfindung ist die Erkenntnis von Bedeutung, daß die Grenzen der erforschten Fresnelabsorption für die Laserstrahlung überschritten werden. Durch partielle Verdampfung in Verbindung mit modifizierter Wechselwirkungsgeometrie tritt Plasmabildung auf.

Damit kann die Entstehung einer Dampfkapillaren verbunden sein. Es ergibt sich ein Schmelzefluß im Schnittbereich und ein Schmelzeaustritt hinter der Dampfkapillare, also vom ungeschnittenen Blech entfernt. Das bedingt Schmelzstauerscheinungen, verbunden mit der Gefahr der Überhitzung der Schnittfuge und der Gefahr der Verbreiterung der Schnittfuge und der dieser benachbarten Wärmeinflußzone der Bleche. Diese Erscheinungen können dazu führen, daß die gewünschten Geschwindigkeitssteigerungen nicht oder jedenfalls zu einem erheblichen Teil nicht erreicht werden können. Die Beimischung von Wasserstoff zum Schneidgas vermag die vorbeschriebenen negativen Erscheinungen jedoch weitgehend zu begrenzen. Es kann zwar ein durch Verdampfung des Blechwerkstoffs bedingtes Plasma entstehen. Eine abschirmende Wirkung des Plasmas in Bezug auf die Laserstrahlung braucht jedoch nicht in Kauf genommen zu werden und vor allem können die Behinderungen des Schmelzeaustritts vermieden werden. Wasserstoff hat eine durch seine leichten Moleküle bedingte kühlende Wirkung, z. B. durch erhöhte Rekombinationsrate per Dreierstoß (Elektron-Ion-Wasserstoff), so daß die Gefahr der Überhitzung der Schnittfuge vermieden werden kann. Insbesondere ist jedoch von Bedeutung, daß die Oberflächenspannung der Schmelze durch den Wasserstoff verringert wird, was dem Aufstauen der Schmelze und einer damit verbundenen Behinderung des Schmelzeaustritts entgegenwirkt.

Im vorbeschriebenen Sinne ist es vorteilhaft, wenn Wasserstoff 5 Vol.-% bis 25 Vol.-% des Schneidgases ausmacht. Es konnten Geschwindigkeitssteigerungen von ca. 15% gegenüber der Verwendung von Schneidgasen ohne Wasserstoffanteile nachgewiesen werden.

Empfehlenswert ist es, daß als Inertgas Stickstoff oder Argon vorhanden ist. Es sind dies industriell verfügbare preiswerte Gase. Während sich Stickstoff in der Regel besonders für Eisenmetalle eignet, kann Argon schwerpunktmäßig bei Nichteisenmetallen vorteilhaftes Inertverhalten zeigen.

Vorteilhafterweise wird die Vorrichtung so ausgebildet, daß die Gasdüse mit zum Blech vertikaler Achse der Strahlachse der Laserstrahlung vorlaufend justiert ist. Zu demselben Zweck ist es vorteilhaft, daß die Gasdüse mit zum Blech geneigter Achse angeordnet ist, daß oberhalb des Blechs eine Neigung in Richtung des ungeschnittenen Blechs vorhanden ist, und daß das Schneidgas auf die Schnittfront und/oder auf das ungeschnittene Blech gerichtet ist. Allen vorgenannten Ausgestaltungen ist es gemeinsam, daß das Druckzentrum des durch die Gasdüse erzeugten Gasstromes zum ungeschnittenen Blech hin verlegt ist. Infolge dieser Düsenjustage entsteht beim Eintritt des Gasstrahls in die Schnittfuge ein transversaler Druckgradient. Dieser bedingt einen Strömungsanteil in Richtung der Längserstreckung der offenen Schnittfuge, so daß ein schneller Abtransport der Schmelze und des Dampfes aus dem Wechselwirkungsbereich der Laserstrahlung mit dem Werkstoff des Blechs, wie auch eine geringere Verdampfung erreicht wird. Beim Schmelzeaustritt wirken die Verringerung der Oberflächenspannung der Schmelze durch den Wasserstoff des Schneidgases und der transversale Druckgradient des Schneidgases zusammen, um den Schmelzeaustritt zu beschleunigen.

Die Vorrichtung wird dadurch vorteilhaft weitergebildet, daß die Laserstrahlung in Schneidrichtung länglich fokussiert ist. Infolgedessen kann die Schnittfuge trotz einer Vergrößerung der Wechselwirkungsfläche

der Laserstrahlung mit dem Blech in axialer Richtung schmal gehalten werden. Andererseits wird die Intensität der Laserstrahlung bezogen auf die Schnittfront verringert und so eine unerwünschte starke Verdampfung mit entsprechend starker Plasmabildung vermieden.

Um die Laserstrahlung möglichst stark fokussieren zu können, ist eine Laserstrahlung niedriger Modenordnung vorhanden.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine perspektivische schematische Ansicht einer Schneidvorrichtung, und

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Längsschnittes durch den Schneidbereich eines Bleches.

Das in Fig. 1 dargestellte Blech 10 wird im Schneidbereich 20 mit der Laserstrahlung 11 eines Laserstrahls 21 geschnitten. Das Blech 10 hat gemäß Fig. 2 die Dicke  $d$  und beim Schneiden entsteht eine Schnittfuge 16, wenn das Blech 10 in der Richtung des Vorschubs 22 bewegt wird. Dabei ist die Schneidvorrichtung 25 feststehend. Die Schneidgeschwindigkeiten bewegen sich im Bereich von 20 m/min bis 150 m/min bei Blechen von unter 1 mm. Die Vorrichtung 25 wird z. B. in Längs- und/oder Querteilanlagen sowie in Besäumanlagen angewendet, wobei das Blech z. B. vom Coil abgewickelt wird.

Die Vorrichtung 25 weist eine Fokussieroptik auf, beispielsweise eine Fokussierlinse, mit der die Laserstrahlung 11 so fokussiert ist, daß der Fokus im Bereich der Blechdicke  $d$  liegt vgl. Fig. 2. In Anbetracht der dünnen Bleche, die es zu schneiden gilt und vor allem wegen der erwünschten schmalen Schnittfuge 16 soll die Fokussierung möglichst stark, der Fokus also möglichst klein sein. Das kann erreicht werden, indem die Laserstrahlung eine möglichst niedrige Modenordnung aufweist.

Aus Fig. 1 ist ferner ersichtlich, daß der Laserstrahl 21 von einer Gasdüse 13 für Schneidgas 14 umgeben ist. Das Schneidgas 14 trifft in Richtung der Laserstrahlung 11 auf den Schneidbereich 20 des Blechs 10. Es besteht aus einem Inertgas, wie Stickstoff oder Argon, welches vornehmlich dem Austrieb der Schmelze 15 dient, die beim Schneiden durch die Laserstrahlung 11 erzeugt wird. Außerdem ist dem Schneidgas Wasserstoff beige-mischt, dessen Wirkung weiter unten beschrieben wird.

Beim Schneiden entsteht eine Schnittfront 23, von der aus der Austrieb der Schmelze 15 erfolgt. Das ist schematisch deutlicher in Fig. 2 zu erkennen, in der dargestellt ist, daß die Schnittfront 23 wesentlich flacher liegt, nämlich mit einem Winkel  $3-70^\circ$ , im Vergleich zum herkömmlichen Schneiden mit Fresnelabsorption, wo der Winkel nahe  $90^\circ$  ist, die Schnittfront 23 also sehr steil verläuft. Die flache Schnittfront 23 erklärt sich bei dünnen Blechen mit dem niedrigen Verhältnis aus Fokusdurchmesser  $d_f$  und Blechdicke  $d$  und zwar trotz der größeren Strahlintensität bzw. der stärkeren Fokussierung. Bei herkömmlichem Schneiden von zum Beispiel 3 mm dicken Blechen mit Fokusdurchmesser  $d_f = 3/10$  mm ergibt sich ein auf die Blechdicke  $d$  bezogenes Verhältnis von  $1:10$ . Trotz höherer Strahlintensität infolge stärkerer Fokussierung auf zum Beispiel 6/100 mm ergibt sich bei einer Blechdicke von 0,2 mm ein Verhältnis von  $1:3$ , so daß die Schnittfront bei maximaler Schneidgeschwindigkeit also flacher liegen muß, um den Laserstrahl vollständig einzukoppeln. Das bedeutet eine größere Wechselwirkungsfläche. Außerdem ergibt sich ein vergleichsweise großer Schmelzestau, da aufgrund der hohen Schneidgeschwindigkeit ein großer Volumenstrom gegeben ist und die maximale Geschwindigkeit der Schmelzeströmung begrenzt ist. U.a.

deswegen erfolgt in Richtung der Pfeile 24 der Fig. 2 ein verstärktes Verdampfen des Blechwerkstoffs. Zusammen mit der flacheren Schnittfront 23 verringert sich also die Strömungsgeschwindigkeit der Schmelze 15 bei ihrem Austrieb und die Metallverdampfungsrate steigt an, so daß bei den hohen Laserintensitäten ein abschirmendes Metaldampfplasma entstehen kann. Beides wird durch die Beimischung von Wasserstoff zum Inertgas verringert. Der Wasserstoff bewirkt, daß die Oberflächenspannung der Schmelze verringert wird, so daß diese also schneller ausgeblasen werden kann und damit Schmelzfildicke, Oberflächentemperatur und Verdampfungsrate sinken. Diesem Umstand kommt erhebliche Bedeutung zu, wenn beachtet wird, daß die Schnittfuge 16 zwar schmal und das Blech dünn ist, die auszutreibende Masse infolge der hohen Schnittgeschwindigkeit insgesamt jedoch sehr groß ist. Außerdem kühlen die leichten Moleküle des Wasserstoffs das Plasma und wirken so der Entstehung eines abschirmenden Metaldampfplasmas entgegen. Dadurch wird neben der Erhöhung der maximalen Schneidgeschwindigkeit auch die Stabilität des Schneidprozesses erhöht, was sich entsprechend positiv auf die Schnittqualität auswirkt.

In Fig. 2 ist die Laserstrahlung 11 mit einem im Bereich der Blechdicke  $d$  liegenden Fokus des Durchmessers  $d_f$  dargestellt worden. Die zugehörige Achse der Laserstrahlung 11 ist mit 18 gekennzeichnet. Die Gasdüse 13 ist ebenfalls rotationssymmetrisch ausgebildet und ihre Achse ist mit 17 bezeichnet. Die Achse 17 ist hier ein Synonym für das Druckzentrum des Schneidgases 14, welches dem Schneidbereich 20 wie ersichtlich zugeführt wird.

Bei der relativen Zuordnung der Gasdüse 13 und der Laserstrahlung 11 ist beachtenswert, daß die Achse 17 der Gasdüse 13 in Bezug auf die Achse 18 der Laserstrahlung 11 mit einer Exzentrizität  $e$  angeordnet ist, und zwar in Richtung auf das ungeschnittene Blech 10 versetzt. Als Folge dieser vorlaufenden Düsenjustierung entsteht beim Eintritt des Schneidgases 14 in die Schnittfuge 16 ein transversaler Druckgradient in Längsrichtung der offenen Schnittfuge, also senkrecht zur Achse 18. Infolgedessen wird auf den entstehenden Metaldampf so Einfluß genommen, daß eine abschirmende Wirkung des Metaldampfplasmas vermieden werden kann. Außerdem wird die Schmelze 15 in Richtung der vergleichsweise flachen Schnittfront 23 schneller abtransportiert. Obwohl also der Austribsweg infolge der flacher liegenden Schnittfront 23 länger ist, als bei steilerer Schnittfront, ergibt sich durch die Zusammenwirkung des die Oberflächenspannung der Schmelze 15 verringernden Wasserstoffs mit der verbesserten transversalen Führung des Schneidgases ein verbesserter Schmelzeaustrieb.

Aus Fig. 2 ist ersichtlich, daß die Erzielung eines transversalen Druckgradienten des Schneidgases auch dadurch erreicht werden kann, daß die Gasdüse 13 mit zum Blech 10 geneigter Achse 19, 19' angeordnet ist. Die Neigung und Anordnung der Achse 19, 19' bestimmt in Verbindung mit der Neigung der Schnittfront 23 die Größe des transversalen Druckgradienten. Unterschiedlich ist bei der Anordnung der Achsen 19, 19', daß die Achse 19 die Schnittfront im Bereich der Achse 18 im Schneidbereich 20 schneidet, während die Achse 19' in Richtung des ungeschnittenen Blechs 10 vor dem vorgenannten Schnittpunkt liegt. Das Schneidgas 14 trifft auf die Schnittfront 23 und/oder auf das ungeschnittene Blech 10.

In Fig. 2 ist die Laserstrahlung 11 mit einem Fokus des Durchmessers  $d_f$  dargestellt. Der Strahlquerschnitt ist also kreisförmig. Die Laserstrahlung 11 kann aber auch elliptisch bzw. länglich fokussiert sein. In diesem Falle ist  $d_f$  die Länge der großen Halbachse der Ellipse, wobei diese in Schneidrichtung angeordnet ist. Infolgedessen wird die Intensität der Laserstrahlung auf der flachen Schnittfront verringert und damit die Wechselwirkungsfläche beim Einkoppeln der Laserstrahlung in das Blech vergrößert. Dadurch kann der Schneidprozeß stabilisiert werden, weil die Plasmabildung und der Schmelzeustrieb besser kontrolliert werden können. Zugleich kann die Breite des Laserfokus klein gehalten werden und dementsprechend die Breite der Schnittfuge 16.

Mit der Vorrichtung können Schnittgeschwindigkeiten von mehr als 100 m/min erreicht werden.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Hochgeschwindigkeitsschneiden dünner Bleche (10) mit Laserstrahlung (11), die mit einer Fokussieroptik (12) im Bereich der Blechdicke (d) fokussiert ist, mit einer Gasdüse (13) für Schneidgas (14), das aus Schmelze (15) aus der Schnittfuge (16) austreibendem Inertgas und aus das Schneiden beeinflussendem Gas besteht, dadurch gekennzeichnet, daß das das Schneiden beeinflussende Gas Wasserstoff ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Wasserstoff 5 Vol.-% bis 25 Vol.-% des Schneidgases ausmacht.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Inertgas Stickstoff oder Argon vorhanden ist.
4. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Gasdüse (13) mit zum Blech (10) vertikaler Achse (17) der Strahlachse (18) der Laserstrahlung (11) vorlaufend justiert ist.
5. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Gasdüse (13) mit zum Blech (10) geneigter Achse (19, 19') angeordnet ist, daß oberhalb des Blechs (10) eine Neigung in Richtung des ungeschnittenen Blechs (10) vorhanden ist, und daß das Schneidgas (14) auf die Schnittfront (23) und/oder auf das ungeschnittene Blech (10) gerichtet ist.
6. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlung (11) in Schneidrichtung länglich fokussiert ist.
7. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Laserstrahlung (11) niedriger Modenordnung vorhanden ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

